2
Revisão de Literatura

2.1
Resgate histórico dos usos da Floresta Atlântica no Camorim[1]

As primeiras civilizações no Estado do Rio de Janeiro são datadas em cerca de 4 mil anos no passado e a principal pista de sua existência é a presença de reservatórios de conchas chamados sambaquis. Durante o mesmo período, o controle do fogo teve início permitindo a origem do manejo de terras. Estas populações viviam principalmente da coleta de recursos fornecidos pelo mar e praticavam a agricultura, sobretudo tubérculos, como forma complementar de alimentação. Após determinado tempo de uso do ambiente, estas populações mudavam-se abandonando objetos de uso, adornos e sepulturas, todos criados a partir de rituais e simbologias próprias. Mais recentemente, durante o século XVI, conheceu-se as primeiras populações indígenas de que se tem notícia: os habitantes do estado do Rio de Janeiro no presente, tupinambás (tradição Tupi) e a tribo goitacá (tradição Una), advindos da Amazônia, bem como os tamoios. (CORRÊA, 1933; DEAN, 1996; GALINDO-LEAL e CÂMARA, 2005).

Com a chegada dos europeus ao Brasil em 1500, a exploração em larga escala do pau-brasil ampliou a degradação, principalmente nas florestas costeiras entre o Ceará e o Rio de Janeiro. Os colonizadores passaram a abrir cada vez mais áreas, através de queimadas, para ocupação, plantio e defesa de ataques indígenas. A madeira era continuamente consumida para os mais diversos propósitos e era a única forma disponível de combustível. O litoral e sua parte continental próxima foram ocupados prioritariamente, exatamente onde se situa a Mata Atlântica (GALINDO-LEAL e CÂMARA, 2005).

Após breve auge da economia açucareira no século XVII, a decadência deu-se rapidamente. No século XVIII os cafezais se expandiram, atingindo seu ápice e declínio durante o século XIX. Dentro do modelo agroexportador de

[1] A sub-bacia do rio Caçambe situa-se na área do Camorim.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

monocultura, o café ocupou o maciço da Pedra Branca mesmo que em magnitude inferior ao maciço da Tijuca (FRIDMAN, 1999; ENGEMANN *et al*., 2005a, 2005b).

A decadência dos engenhos de açúcar ocorreu pelas conhecidas causas de oscilação do preço do produto no mercado Europeu somada à concorrência holandesa nas Antilhas (fim do monopólio português) e má administração dos trabalhadores escravos. Some-se a isso a super-exploração das matas. A Floresta Atlântica, foi inicialmente considerada como recurso inexaurível, como pode-se ver na obra "Cultura e Opulência no Brasil por suas Drogas e Minas, do padre André João Antonil, de 1711" (ANTONIL *apud* OLIVEIRA e ENGEMANN, 2009, p6). Décadas depois, na obra "O Fazendeiro do Brasil", Frei José Mariano da Conceição Veloso relata o esgotamento da terra na busca pela modernização brasileira: "As matas são finitas. Quantos engenhos de açúcar não têm deixado de existir pela falta deste combustível?" (VELOSO, 1798, p.14).

Oliveira e Engemann (2009) e Engemann *et al.* (2005c) mostram que através de relatórios trienais a respeito das posses do Mosteiro de São Bento, no Rio de Janeiro, foi possível levantar que para atender o consumo de lenha anual de um engenho (4.200 m^3) abatiam-se entre 4 e 21 $ha.ano^{-1}$ de florestas. Pode-se ter uma idéia então do impacto da atividade açucareira sobre a Mata Atlântica ao cruzar com outro dado: existiam 131 engenhos em funcionamento no início do século XVIII (ABREU, 2006b).

A substituição da cultura agrícola indígena pela agricultura permanente européia em regime de monocultura aumentou demasiadamente a pressão sobre a floresta. A monocultura da cana pecava por um alto desperdício dos recursos de terra, floresta e trabalho que eram abundantes e baratos. Além do espaço de cultivo da cana e do café, roças de subsistência, como o milho, feijão, arroz e mandioca para a farinha de guerra, amenizavam a grave questão social com um corte nas despesas dos senhores na manutenção dos escravos e para estes significava um pequeno grau de independência econômica (ENGEMANN *et al.,* 2005c ; OLIVEIRA e ENGEMANN, 2009).

No Rio de Janeiro, os primeiros registros locais escritos da colonização indicam o pertencimento à família Correia de Sá, não só da Fazenda da Vargem Grande, como de toda a área que abrange atualmente os bairros da Barra da Tijuca e de Jacarepaguá. Os filhos de Salvador Correia de Sá, primeiro governador do Rio de Janeiro, dividiram a área e Gonçalo fundou o Engenho d`água de São Gonçalo, no Camorim. Quando a filha de Gonçalo, d. Vitória, casou-se, as terras de Gonzalo de Sá foram o seu dote. Em seu testamento, d.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

Vitória deixou as terras para os monges beneditinos do mosteiro de São Bento. D. Vitória faleceu em 1667. Antes de tornar-se propriedade dos monges, estas terras já estavam abarrotadas de canaviais e pastos, inclusive com currais dos próprios padres. Posteriormente, em posse das terras da Vargem e com o intuito de facilitar a administração, os monges beneditinos dividiram estas propriedades em três: Camorim, Vargem Grande e Vargem Pequena (FRIDMAN, 1999; ENGEMANN *et al*., 2005a, 2005b; OLIVEIRA, 2005).

No século XIX iniciava-se o ciclo do café no Sudeste. Dentro deste contexto, a era beneditina acabava, assim como a escravidão. Após um breve período próspero, a situação econômica deficitária voltou a ser a constante da fazenda do Camorim. No fim do século XIX, as terras foram, por falta de pagamento de hipoteca, para o controle do Banco de Crédito Móvel que dividiu a terra arrendando pequenas glebas para lavradores e pequenos proprietários. (CORRÊA, 1933; FRIDMAN, 1999; OLIVEIRA, 2005; ENGEMANN *et al.,* 2005a, 2005b; SANTOS, 2007).

Durante a primeira metade do século XX, Corrêa (1933) chamou a atenção do desmatamento próximo às áreas urbanas no Rio de Janeiro e para a necessidade de uma utilização racional dos recursos florestais:

> "As mattas, capoeirões e mesmo capoeiras, localizadas nas serras, montes e morros com declividade pronunciada, devem ser poupados, pois, após as derribadas, o solo só supportará uma cultura, porque, as chuvas tropicales lavarão o solo e não penetrando nelle, em virtude de sua inclinação, produzirão grandes enxurradas, nos valles e terrenos planos; em tempo bom, o sol torrificante esterilizará a terra matando as bactérias nitrogenicas.
>
> Assim precisamos ver e estudar como e onde se deve fazer o carvão, reflorestar as nossas serras e morros pellados. O eucalypto também é um mal, só serve para pântanos e beiras de estradas de ferro, pois onde vive absorve tudo que a terra possue, tornando-a empobrecida para sempre.
>
> A carbonização da lenha não causará danno ás nossas reservas florestaes, se os proprietários de mattas souberem fazer o replantio methodico das mesmas. (CORRÊA, 1933, p.86)."

A retirada de lenha e carvão, iniciada anteriormente em meados do século XIX, foi de impacto expressivo nas décadas de 1940 a 1960[2]. O objetivo era abastecer o crescente centro urbano do Rio de Janeiro. A extração se dava nas áreas mais elevadas e encostas onde não havia moradores. Passados os grandes ciclos econômicos, a agricultura de subsistência tomou lugar na Pedra Branca, praticada por pequenos proprietários. Com o passar do tempo estes

[2] Atualmente, vestígios de carvão em áreas aplainadas, remanescentes da prática carvoeira estão espalhados por todo maciço da Pedra Branca, com a área do Camorim possuindo uma boa concentração (SOLÓRZANO *et al*., 2005).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

pequenos agricultores passaram a comercializar seus produtos em pontos próximos à vargem. O fornecimento destes produtos passou a ser parte importante do abastecimento da cidade criando inclusive uma relação de dependência (GALVÃO, 1957; ENGEMANN, 2005b).

Dentre todos estes produtos, os principais comercializados eram além da banana, a laranja, o chuchu, o mamão e as hortaliças tuberosas. A escolha dos cultivos não era aleatória e além do transporte em mulas e burros, que impossibilitava o cultivo de produtos mais frágeis em áreas mais altas por danificá-los, a orientação e o relevo influenciavam. Nas encostas voltadas para o norte plantavam-se laranja, mamão e mandioca. Nas voltadas para o sul tinha lugar o cultivo de banana que até hoje ainda se faz presente em algumas áreas do maciço. Nas áreas mais baixas ainda se cultivava outros produtos como o aipim, milho, batata doce, berinjela e alface (CORRÊA, 1933; GALVÃO, 1957).

Freitas *et al*. (2005) afirmam que as técnicas de cultivos eram bastante rudimentares e havia um desconhecimento sobre os efeitos da erosão decorrente dos métodos aplicados. Apesar de utilizarem o pousio, ou coivara, em algumas culturas, cultivos como a laranja eram ordenados em linhas morro abaixo, herança cultural dos tempos coloniais em que este modelo era utilizado para fiscalizar o trabalho de escravos pelos senhores, ignorando problemas como perda de solo e aumento do fluxo superficial.

No maciço da Pedra Branca e sua vizinhança até a primeira metade do século XX, a ocupação teve um caráter rural, ao contrário do maciço da Tijuca que, por proximidade, desde cedo sofreu as pressões da urbanização. A partir da segunda metade do século XX, a atmosfera rural começou progressivamente a mesclar-se com o ambiente urbano. Este avanço urbano sobre a Zona Oeste foi consolidado pelas delimitações imprimidas pelo plano Piloto de ordenamento de sua ocupação, em 1969. Acompanhou-se alta especulação imobiliária na baixada de Jacarepaguá. Os grandes eixos de expansão urbana do Rio de Janeiro foram traçados por Lúcio Costa em direção aos remanescentes florestais do maciço da Pedra Branca (FRIDMAN, 1999; SANTOS, 2007).

No plano nacional, a política governamental do governo militar em 1964, que iria durar mais de vinte anos, era de desenvolver-se e modernizar-se a qualquer custo. A Mata Atlântica foi degradada em troca de um crescimento econômico concentrador. Na década de 80, a declaração do então senador José Sarney, mostra o retrato do modelo brasileiro de industrialização: "Que venha a poluição, desde que as fábricas venham com ela" (DEAN, 1996).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

Apesar dos avanços na legislação brasileira a partir da última década do século XX, inclusive na Constituição de 1988 (BRASIL, 1988) com um capítulo inteiro dedicado ao meio ambiente (art. 225), e com a criação de leis federais que protegem diretamente áreas como o maciço da Pedra Branca (como a lei 11.428/06 sobre a utilização e proteção da vegetação do Bioma Mata Atlântica) (BRASIL, 2006), a política brasileira desenvolvimentista pouco mudou (SANTILLI, 2007). A pressão sofrida no maciço da Pedra Branca com o crescimento urbano carioca é uma realidade (OLIVEIRA, 2005). Áreas rurais e balneários de restinga vêm se transformando em sítios urbanos, sendo o exemplo mais gritante e consolidado, a Barra da Tijuca.

2.2
Definições do bioma Mata Atlântica e do ecossistema associado Floresta Atlântica

Segundo Dean (1996), Galindo-Leal e Câmara (2005) e a Fundação SOS Mata Atlântica[3], a área atual de ocorrência do bioma Mata Atlântica é de cerca de 7% do total anterior à época do início da colonização, sendo um bioma que reúne ecossistemas variados, sendo a Floresta Atlântica um eles. Os fragmentos de Mata Atlântica ocupam 14 estados - Espírito Santo, Rio de Janeiro, Santa Catarina, Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais, Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí.

A Floresta Atlântica é um dos principais ecossistemas associados ao bioma Mata Atlântica. Neste ecossistema, predominam as florestas classificadas como ombrófilas densas, ombrófilas mistas (com araucária) e, em menor proporção, as estacionais semi-deciduais (20 a 50 % das árvores perdem as folhas na estação seca do ano). Manguezais, restingas, brejos, campos de altitude e enclave florestal do nordeste são os outros ecossistemas associados à Mata Atlântica (IBGE, 2003a, 2003b).

O CONAMA (BRASIL, 1981, 1993) também considera estes ecossistemas como pertencentes ao domínio do bioma Mata Atlântica. A resolução n° 10 de 1993 define os termos que se aplicam na caracterização da Floresta Atlântica (anexo 1). Termos os quais não se aplicam aos outros ecossistemas associados da Mata Atlântica. No maciço da Pedra Branca, a quase totalidade da área contém Floresta Ombrófila Densa. O artigo 3° da resolução CONAMA n° 10 define a Floresta Atlântica considerando basicamente sua estrutura, densidade e

[3] www.inpe.br e http://mapas.sosma.org.br/

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

a presença de espécies relativas a estágios sucessionais iniciais, médios e avançados.

O artigo 3˚ da resolução CONAMA n˚ 10 utiliza não utiliza o termo “Floresta Atlântica”, apenas “Mata Atlântica”. No entanto, a distinção fica clara no artigo 4˚ quando determina que as definições no artigo 3˚ não são aplicáveis aos ecossistemas associados às formações vegetais do domínio da Mata Atlântica, tais como manguezal, restinga, campo de altitude, brejo interiorano e encrave florestal do nordeste (anexo 1). Por exclusão, a definição só pode tratar da utilização do termo “Mata Atlântica” como sinônimo de “Floresta Atlântica”. Apesar de não utilizada nesta resolução, a diferenciação de termos é amplamente difundida e utilizada pelo IBGE (2003a, 2003b).

2.3
Sucessão secundária

A sucessão secundária é um processo no qual acontece a regeneração de uma comunidade vegetal através da sua transformação florística, estrutural e funcional. Na teoria, o processo completo começa com espécies iniciais e pioneiras, caminhando em uma sequência temporal desde o seu estabelecimento e crescimento até atingir a maturidade e o equilíbrio. Budowski (1965) propôs uma classificação amplamente aceita, dividindo as espécies em pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e climáxicas.

Segundo Whittaker (1962), Cowles em 1988, Clements em 1916 e Tansley em 1939 foram os principais ecólogos responsáveis pela consolidação dos estudos das comunidades vegetais com ênfase na dinâmica sucessional. As idéias de Clements, um seguidor de Cowles, foram dominantes na ecologia vegetal norte americana na década de 1970 (FREIRE, 2010). Segundo Clements (1916), em uma mesma região climática, as comunidades vegetais tenderiam a um mesmo tipo de clímax. As comunidades vegetais deveriam necessariamente passar por uma série de níveis sucessionais (seres) anteriores, constituindo etapas facilitadoras no caminho para o clímax. Tansley (1939) foi um seguidor do pensamento clementiano e sua principal contribuição foi discordar da idéia de que as comunidades vegetais deveriam obrigatoriamente convergir para o mesmo tipo de clímax. Apesar de simplificar o uso de terminologias na classificação das comunidades, a Escola Britânica (Tansley) pouco contribuiu com definições mais precisas e menos generalizadas, para aplicação prática do conceito de sucessão (FREIRE, 2010).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

O paradigma atual mais amplamente aceito defende um equilíbrio dinâmico ao contrário do pensamento clássico clementiano que considerava a sucessão como um caminho linear, ordenado e previsível, na busca por um estado final. Sousa (1984), Pickett e White (1986), Swaine e Whitmore (1988), Denslow (1995) e Guariguata e Ostertag (2001) ressaltam a multiplicidade de mecanismos reguladores e a existência de diversos estágios finais persistentes. A competição por recursos é o mecanismo principal no processo de sucessão. Connel e Slatyer (1977) consideram que além da competição, a sucessão secundária é um resultado de facilitação, tolerância e inibição.

> "Cada espécie do dossel das florestas tropicais e subtropicais pode criar microsítios específicos sob sua copa, que funcionam como filtros para aquelas espécies que tentam regenerar sob elas. Em função da permeabilidade ou impermeabilidade, cada espécie do dossel poderia parcialmente determinar a composição e estrutura da comunidade de plantas sob a projeção da sua copa. Portanto a biodiversidade presente e futura da comunidade de plantas da floresta poderia ser parcialmente determinada pela estrutura atual da comunidade de árvores do dossel (efeito de filtro)" (GANDOLFI *et al.*, 2007, p.1).

As clareiras formadas por distúrbio estão fundamentalmente ligadas a estes mecanismos. Garcia-Montiel (2002, p.98) define distúrbio ou perturbação como "qualquer evento relativamente discreto no tempo e espaço". Segundo Souza (1984), distúrbio é uma fonte majoritária de heterogeneidade espacial e temporal na estrutura e dinâmica de comunidades vegetais, sendo um agente de seleção natural na evolução histórica da vida. O distúrbio influenciará de forma decisiva na sucessão mas também em processos como produção primária e secundária, acúmulo de biomassa e energia, e ainda na ciclagem de nutrientes.

A abertura de uma clareira transforma o habitat anterior criando novas condições que irão combinar-se complexamente, favorecendo ou desfavorecendo as espécies estabelecidas ou prospectiva. Os eventos mais comuns, causadores de um distúrbio são o fogo, o vento e as chuvas. O clímax ou maturidade passa a ser considerado como um equilíbrio dinâmico. A regeneração não implica em um retorno idêntico às condições anteriores ao distúrbio. Desta maneira, os diferentes usos aplicados ao ambiente florestal exercem influencia decisiva no aumento da magnitude dos distúrbios interferindo no processo de sucessão.

Uma das maiores dificuldades em se aplicar as classificações em estágios sucessionais é a terminologia confusa e a falta de definições precisas. Em florestas tropicais basicamente existem dois grupos principais, chamados de pioneiros e clímax ou não pioneiros (SWAINE e WHITMORE, 1988). Outras terminologias aplicadas são descritas pelos mesmos autores, respectivamente:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

colonizadoras e clímax, efêmeras e persistentes, estrategistas r e K, tolerantes à sombra e intolerantes. Esta classificação leva em conta as condições ambientais e em especial a luminosidade. Em geral, as espécies de uma comunidade vegetal chamadas de estrategistas r têm rápido crescimento e reprodução, baixa longevidade e resistência a ambientes instáveis. Sua produção de sementes é alta com dormência e seus propágulos pequenos e leves para facilitar a dispersão anemocórica. Sua presença está associada a grandes clareiras. Um dossel alto e fechado sombreia os níveis inferiores reduzindo drasticamente o número de estrategistas r pela sua necessidade de luminosidade. Com o passar do tempo, são gradualmente substituídas pelas estrategistas K (secundárias tardias e climáxicas) que possuem crescimento mais lento, capacidade de reprodução menor, além de adaptação a sombra e ambientes mais estáveis. A dispersão geralmente é zoocórica por seus propágulos serem maiores e mais pesados (SWAINE e WHITMORE, 1988; TONHASCA Jr., 2005).

Com base nos dois grupos principais, Guariguata e Ostertag (2001) propõem uma definição similar aos estágios sucessionais de Budowsky (1916) mas fundamentada também na estrutura e funcionalidade. Uma caracterização necessária em florestas tropicais onde a heterogeneidade de espécies é muito alta. O estágio de sucessão pioneiro (colonização) conta com gramíneas e arbustos. Este é o estágio entre 1 e 5 anos, após a retirada completa de cobertura vegetal, geralmente pela agricultura, pecuária ou outra atividade humana. Uma ressalva deve ser feita ao relacionar tempo com sucessão. Fatores que influenciam a sucessão, retardando ou tornando-a mais rápida são: 1) as formas da paisagem, como distância da floresta e topografia; 2) o clima; 3) a presença de bancos de semente e plântulas, assim como a vegetação residual; 4) compactação do solo, presença de micorrizas, tipo e intensidade do uso do solo anterior e nutrientes disponíveis; 5) interação entre as espécies como predação de sementes, patogenias, competição e outros.

O estágio de sucessão inicial estabelece-se entre 5 e 20 anos e inclui a formação do dossel, o aumento de espécies e da serrapilheira. Tornam-se similares às florestas maduras os níveis de biomassa das raízes finas, de fluxo de atravessamento e de tronco, de acumulação de biomassa, produção primária líquida, ciclagem de nutrientes e de riqueza de espécies do dossel inferior. Aparecem os primeiros indivíduos mortos em pé. O estágio de sucessão avançado (tardio), entre 20 e 100 anos, inclui distúrbios e clareiras de pequena escala com mais freqüência, regeneração avançada e estocagem de nutrientes na biomassa. Reduzem as taxas de produção de serrapilheira e produtividade

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

primária líquida, além da diminuição da heterogeneidade espacial do dossel inferior sujeito a pouca luminosidade. Ainda há ocorrência de espécies pioneiras longevas. O estágio maduro é composto principalmente de espécies tolerantes à sombra, entre 100 e 400 anos, possuindo o dossel mais diverso, clareiras largas, distúrbios crônicos, árvores muito grandes e alta heterogeneidade espacial no dossel inferior sujeito a pouca luminosidade (GUARIGUATA e OSTERTAG, 2001).

A complexidade da dinâmica de sucessão secundária produz verdadeiros mosaicos de tipologias vegetais pelo fato de co-existirem diversos gradientes e não propriamente estágios, mesmo em florestas conservadas. Neste contexto, outra grande contribuição no estudo das comunidades vegetais através do paradigma do equilíbrio dinâmico foi a emergência da disciplina da Ecologia da Paisagem[4] no fim do século XX. A disciplina possui um forte foco na investigação da paisagem através de sua estrutura, processos/ funcionalidade determinadas pelas escalas espaciais e temporais. Forman e Godron (1986, p.3) relacionam os princípios da paisagem da seguinte forma: “Um ciclo de retroalimentação sem fim. A funcionalidade passada produziu a estrutura do presente; a estrutura do presente produz a funcionalidade do presente; a funcionalidade do presente produzirá a estrutura do futuro.”

As formas espaciais afetam decisivamente o processo sucessional e seu desenvolvimento resulta basicamente de três mecanismos atuantes nos limites da paisagem: processos geomorfológicos específicos ao longo do tempo, formas de colonização dos organismos e distúrbios em ecossistemas durante curto espaço de tempo. As estruturas que compõem os mosaicos da paisagem se dividem em matriz, fragmentos e corredores[5]. (FORMAN e GODRON, 1986; PICKETT e CADENASSO, 1995).

Fragmentos são áreas não lineares que diferem em aparência do seu entorno, geralmente produzidos por distúrbio. “A fragmentação é basicamente um processo de ruptura na continuidade de habitats” podendo ocasionar ruptura nos fluxos e processos ecológicos (METZGER, 2003, p.51). Variam em tamanho, forma, tipo, isolamento, idade e características de borda. Estão contidos em uma matriz que possui composição e estruturas diferentes. Por exemplo, um fragmento de floresta em vastos campos de fazendas ou ainda um remanescente de floresta, não atingido por uma queimada no seu entorno. Nos

[4] termo cunhado por Carl Troll, em 1939.
[5] Corredores não serão discutidos aqui mas sua principal função é a conectividade.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

exemplos anteriores, os campos agrícolas e a área queimada seriam a matriz que representa uma maior homogeneidade relativa ao fragmento.

A determinação da matriz (mais homogênea) e do fragmento (heterogeneidade dentro de uma matriz) vai depender do recorte na escala de observação. Em casos de ambientes muito fragmentados, pode tornar-se difícil reconhecer a matriz. Outra forma de identificação é considerá-la como a unidade da paisagem funcionalmente dominante, o que não necessariamente corresponde à dominância espacial (FORMAN e GODRON, 1986; PICKETT e CADENASSO, 1995).

A floresta do Camorim, área de realização do presente trabalho, apresenta um bom estado de conservação, sendo prioritariamente uma tipologia secundária tardia no mosaico que é o fragmento florestal do maciço da Pedra Branca. Em uma escala aproximada, esta tipologia dominante pode parecer a matriz, no entanto, a observação a partir de uma escala mais ampla torna óbvio que o maciço, apesar de seu tamanho (12.500 ha), estruturalmente constitui apenas um fragmento florestal dentro da matriz urbana. Analisando os processos ecológicos de funcionalidade, a matriz também atua sob o fragmento, com 72% da floresta da sub-bacia do Camorim consideravelmente influenciada pela ação antrópica (CINTRA, 2007).

A fragmentação de uma floresta expõe algumas espécies às condições do ecossistema adjacente, fenômeno que se nomeou como efeito de borda. A justaposição de dois ecossistemas pode produzir efeitos em ambos. Como resultado, a composição de espécies, estrutura e processos ecológicos próximos à linha de contato mútuo podem ser alterados. Clareiras abertas pela dinâmica de distúrbios também podem afetar a borda de um ecossistema. Os mecanismos envolvidos no efeito de borda ainda não são plenamente conhecidos e generalizações em teorias ainda não são definidas. Padrões como os efeitos de borda de meia distância são altamente variáveis e não lineares. Apesar das particularidades do efeito de borda em cada localidade, pode-se diferenciar três tipos de efeitos: abióticos, biológicos diretos e biológicos indiretos. Os biológicos indiretos são aqueles em que a dinâmica entre a interação de espécies é alterada por mudanças no ambiente florestal como disponibilidade de alimentos ou sua falta (MURCIA, 1995; RODRIGUES e NASCIMENTO, 2006).

Desta forma, as conexões entre tipologia, funcionamento e ciclo hidrológico se estabelecem a partir de um distúrbio que promoverá uma mudança física, de estrutura e composição, determinando funções como por

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

exemplo, a redistribuição hidrológica pela interceptação vegetal e a ciclagem de nutrientes.

2.4
A variabilidade pluviométrica no Rio de Janeiro

A circulação atmosférica, em especial a dinâmica de massas, é o principal fator determinante da dinâmica pluviométrica na bacia do Caçambe, Floresta do Camorim e no maciço da Pedra Branca. No Sudeste brasileiro, as massas que podem influenciar no clima, em magnitudes diferenciadas, são a massa equatorial continental (MEC), massa tropical atlântica (MTA) e a massa polar atlântica (MPA). As massas equatoriais do Atlântico (MEA) norte e sul, massa tropical continental (MTC) e massa tropical pacífica (MTP) têm pouca ou nenhuma influencia direta sobre o Rio de Janeiro (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

A MEC, de elevada temperatura e umidade, tem sua gênese na porção centro-ocidental da Planície Amazônica, na célula de divergência dos alíseos, ou doldrums (ventos leste-oeste e áreas de calmaria). A elevada umidade é uma particularidade pouco comum em massas continentais, que ocorre devido à farta rede de drenagem. Quando fortalecida, no verão, pode atravessar o caminho da MPA em porções mais ao sul de sua atuação regular. A MTA se forma em região de altas pressões subtropicais do Atlântico, com características de calor e umidade elevados. Atraída pelas baixas pressões continentais, sua força máxima ocorre no verão. A MTA muitas vezes é associada a ondas de calor no Sudeste. A MPA é uma das duas ramificações (a outra é a massa polar Pacífica) da massa polar criada pelo acúmulo de ar frio e úmido na porção central da Patagônia. Sua atuação alcança o litoral do país e o interior, podendo alcançar em períodos de alta magnitude, as latitudes próximas à linha do Equador. “Dos permanentes deslocamentos da MPA em direção norte e do choque entre suas características e as do ambiente climático tropical e equatorial originam-se os mecanismos frontogênicos austrais” (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007, p111).

Dereczynski *et al.* (2009, p.26), explicam que o “Estado do Rio de Janeiro permanece sob a influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) na maior parte do tempo. Tal sistema é responsável pelas condições de céu claro ou com pouca nebulosidade.” Estabilidade que é interrompida com a chegada de sistemas transientes (STs) como os “sistemas frontais (SFs),

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

ciclones extratropicais, vórtices ciclônicos dos altos níveis de origem subtropical, sistemas convectivos de mesoescala (SCMs) e outros sistemas que promovem o aumento da nebulosidade, a ocorrência de precipitação e a intensificação dos ventos."

Um destes sistemas é a faixa de nebulosidade definida como Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), mais comum entre novembro e março, podendo estender-se desde a Amazônia, até o Oceano Atlântico, numa direção noroeste-sudeste. No verão, a convecção tropical mais acentuada contribui para a formação e manutenção do fenômeno, intensificando-se com os eventos frontais. Há ainda os casos de chuva provocada por efeito de circulação marítima através do transporte intensificado de umidade para o continente pela brisa marítima. Neste caso, predominam ventos sul, umidade e fraco movimento ascendente do ar. (DERECZYNSKI *et al.*, 2009)

No estado do Rio de Janeiro, a média de passagem de sistemas frontais é de quatro por mês no inverno e na primavera; e três por mês no verão e outono. A trajetória no verão é mais lenta, com maior atividade convectiva devido às complexas interações entre outros sistemas transientes e sistemas quase estacionários (ZCAS). No inverno os sistemas frontais deslocam-se mais rapidamente, não conseguem penetrar no interior do continente, geram menor atividade convectiva e queda de temperatura (DERECZYNSKI *et al.*, 2009).

Segundo esta autora, entre 1997 e 2006 na cidade do Rio de Janeiro, a maior parte dos casos de chuvas intensas (> 30,0 mm.dia^{-1})[6] foram provocados por SFs, correspondendo a 77% dos casos. "A freqüência de fenômenos ZCAS (13%) declinou de janeiro a março, sendo nula de abril a setembro e voltando a se elevar de outubro a dezembro" (DERECZYNSKI *et al.*, 2009, p 37) . Os SCMs corresponderam a 8% dos eventos e ocorreram ao longo de todo o ano, com declínio apenas no inverno. Tota *et al.* (2000), em estudo na Amazônia, associou as concentrações diárias de chuva no período tarde-noite-madrugada a eventos convectivos locais. Da mesma forma, tal padrão foi reconhecido por Dereczynski *et al.* (2009) no Rio de Janeiro. Os casos de precipitação intensa provocados por correntes marítimas foram apenas 2%. A maior freqüência de eventos intensos foi em 1998 (25 casos) e menor freqüência em 2000 (10 eventos). A freqüência destes eventos mostrou-se, em regra, bastante variável DERECZYNSKI *et al.* , 2009).

[6] No presente trabalho foram consideradas chuvas diárias intensas, valores acima de 50 mm.dia^{-1}.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

Aproximando a escala de observação sobre a dinâmica do movimento do ar, ocorre a atuação da maritimidade e continentalidade. O sistema de alta pressão e baixa pressão dita a direção dos ventos mais próximos da superfície. O aquecimento provoca elevação do ar criando abaixo uma zona de baixa pressão e, consequentemente, um ponto de convergência do movimento do ar. O oposto, as áreas de alta pressão, são resultantes do movimento descendente do ar frio. No verão, o continente está mais aquecido do que o oceano, desta maneira, o ar marítimo se desloca para o interior; provocando chuvas. No inverno, o gradiente de pressão muda com o oceano relativamente mais quente e o ar muda do continente para o oceano; provocando queda da temperatura e umidade. Mecanismo semelhante ocorre durante o dia. O aquecimento do solo cria baixa pressão gerando a brisa oceânica. A eficiência do solo em perder calor mais rapidamente do que a água configura a brisa continental no período da noite.

> "Processo similar ocorre nas montanhas, quando no decorrer do dia, as encostas dos vales, ao absorverem energia solar aquecem o ar com maior intensidade. Este ao expandir-se, torna-se mais leve que o ar do vale, ocasionando um movimento ascendente, chamado vento ou brisa de vale (anabático)" (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007, p.80-81).

A situação se reverte de noite formando a brisa ou vento de montanha (catabático) quando o resfriamento aliado à ação da gravidade desce pelas encostas, criando correntes geralmente quentes e secas (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

O efeito orográfico é outro decisivo fator no controle da precipitação local. Dereczynski *et al.* (2009) e Coelho Netto (2007) observaram que o domínio montanhoso é mais chuvoso em comparação às planícies em diversos pontos da cidade do Rio de janeiro. Os maciços da Pedra Branca, da Tijuca e do Gericinó-Mendanha recebem os máximos pluviométricos de toda a cidade. O efeito orográfico também foi de grande influência na precipitação de Nova Friburgo (Barboza *et al*., 2004a, 2004b). Oliveira e Hack (2004) tiveram como área de estudo a Floresta Atlântica da Ilha Grande (RJ), e avaliaram um gradiente vertical a partir de dois coletores: um na Vila do Abraão a 20 m de altitude e o outro na trilha para o Pico do Papagaio a 300m de altitude; situados a cerca de 2 km entre si e com orientação sudeste. A série foi de um ano (07/97 a 06/98). Os autores concluíram que em uma Floresta Atlântica na Ilha Grande, a chuva em altitude (300 m) foi cerca do dobro do nível do mar (20 m). O regime de chuvas no Rio de Janeiro também já vem se modificando desde o ciclo histórico de devastação da Floresta Atlântica por monoculturas e pela expansão urbana

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

desordenada. Os efeitos mais óbvios das transformações no clima urbano são percebidos através do desconforto térmico, degradação da qualidade do ar e impactos pluviais. A expressão “ilha de calor” é aplicada para designar o fenômeno no qual alterações no balanço de energia são provocadas pela urbanização. Alterações que afetam as condições micro e mesoclimáticas, interferindo no regime de chuvas, umidade e temperatura:

> “As instalações industriais, a circulação de veículos automotores, a retirada da cobertura vegetal, o revestimento dos solos e a pavimentação de vias de circulação, as modificações na topografia são algumas das interferências no sítio urbano original, que alteram o balanço energético e hídrico da cidade e acabam por gerar ambientes climáticos, na maioria das vezes, inconvenientes ao pleno desempenho das funções urbanas. Os diferentes graus de derivação no organismo urbano, em sua maioria negativos, geradores de problemas sócio-ambientais de diversas ordens, dependendo do tamanho e complexidade da cidade, refletem a desorganização e inadequação de usos do solo para atender satisfatoriamente às necessidades básicas da população.” (MONTEIRO e MENDONÇA, 2003, p.122)

No Rio de Janeiro, os alagamentos são um dos principais problemas sócio-ambientais causados pelos usos do solo inadequados, sendo um deles a ocupação em encostas, domínio mais sujeito a escorregamentos.

As principais características das chuvas, que afetam a natureza e a magnitude do trabalho geomorfológico na bacia de drenagem, sendo determinantes no planejamento de áreas urbanas, industriais ou rurais, são a altura pluviométrica, a intensidade e os regimes sazonais ou diários (distribuição temporal).

As mudanças no regime de chuvas e a instabilização do sistema ambiental podem provocar “redução dos totais pluviométricos anuais; tendência de aumento da sazonalidade; aumento dos períodos interpluviais; aumento da freqüência dos eventos extremos associados a linhas de instabilidade; modificação na dinâmica de recarga dos mananciais”; e a modificação estrutural e funcional por processos adaptativos da vegetação – expansão da floresta estacional semidecídua no domínio florestal atlântico (FIGUEIRÓ, 2005, p.312).

Em relação à variabilidade pluviométrica no entorno do maciço da Tijuca (RJ), Figueiró (2005) aponta para a falta de linearidade no comportamento das chuvas, mas apesar disso, uma forte tendência na queda das chuvas de baixa intensidade (<50 $mm.dia^{-1}$) apresentada nos últimos anos de sua análise (série 1997-2002) dificilmente será compensada em um futuro próximo, mesmo que este tipo de chuva aumente. A recuperação do abastecimento hídrico é lenta e às vezes irreversível. Ao mesmo tempo em que os eventos de maior freqüência e baixa intensidade (<50 $mm.dia^{-1}$) diminuíram, os de menor freqüência e alta

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

intensidade (>50 mm.dia^{-1}) aumentaram. Dinâmica que se aplica em grande parte ao maciço da Pedra Branca sob influência das mesmas massas de ar.

Coelho Netto (2007), Figueiró (2005) e Meis *et al.* (1981) encontraram tendência cíclica alternando períodos mais e menos úmidos em escala de décadas. Os autores verificaram uma tendência secular de redução da pluviosidade. Meis *et al.* (1981) trabalharam com dados de 1937 a 1977 na estação Resende, no estado do Rio de Janeiro. Coelho Netto (2007) completou esta série até 2000. O estudo no vale do Paraíba (Resende) mostrou aumento da freqüência da classe de chuvas diárias mais elevadas (> 30 mm.dia^{-1}), resultado convergente com o sugerido por Coelho Netto (2007) para o Maciço da Tijuca (RJ), onde as variações das alturas pluviométricas anuais seriam fortemente controladas pela freqüência de chuvas diárias mais elevadas (>100 mm.dia^{-1}), numa serie temporal curta (1967 a 1978, estação Alto da Boa Vista). A tendência secular governada pela freqüência das chuvas diárias de maior intensidade foi ainda confirmada por Coelho Netto (2007) e Silveira e Coelho Netto (1998). As chuvas menos intensas (< 20 mm.dia^{-1}), tendem a diminuir secularmente.

Dereczynski *et al.* (2009) analisando as médias mensais e anuais da série 1997-2006, para as estações pluviométricas próximas ao maciço da Pedra Branca, afirma que Grota Funda e Rio Centro foram mais chuvosos em todas estações do ano, exceto no Outono, quando o Rio Centro obteve média próxima a Itaúna e Cidade de Deus, com Tanque se mostrando menos pluvioso. As estações Bangu e Campo Grande, mais próximas das encostas a sotavento do maciço obtiveram sempre médias inferiores, e em algumas vezes, muito próximas de Tanque, Cidade de Deus e Itaúna. Na parte oeste da cidade predominam alturas pluviométricas anuais médias entre 1.000 e 1.200 mm.

Quanto à variabilidade provocada pelos fenômenos El Niño e La Niña, restam incertezas em relação aos seus papéis (FIGUEIRÓ, 2005). Alguns autores (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007; MINUZZI *et al.*, 2006) explicam que o El Niño oscilação Sul (ENOS) acontece quando há um aquecimento incomum das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial, alterando os balanços de energia provenientes das interações oceano-atmosfera. Há redução na pressão atmosférica local pelo aquecimento das águas que pode variar entre 1ºC e 6ºC acima da média térmica de 23ºC. O fenômeno é fortemente notado na costa Pacífica da América do Sul e também pode alterar a dinâmica atmosférica em escala planetária. Em termos sazonais, inicia-se com mais freqüência no mês de dezembro. Sua origem ainda não é

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

bem explicada. Por outro lado, o fenômeno La Niña está relacionado ao resfriamento atípico das águas do Pacífico, também criando alterações na circulação atmosférica global.

Os estudos de Figueiró (2005) e Minuzzi (2006) sugerem que só há alteração positiva (aumento) de precipitação no Sudeste, durante os eventos realmente fortes de ENOS. Por outro lado, Grimm (2000) acredita que a ZCAS não é fortalecida e, portanto, não responsável pelo aumento de chuvas durante o ENOS. De acordo com a autora, durante o ENOS há aquecimento no Centro-Leste, causando circulação ciclônica e produzindo a advecção para lá da umidade que iria para o Sul.

Marengo e Oliveira (1998) consideram o comportamento do El Niño mais consistente do que o apresentado pelo La Niña, o qual mostra grande variabilidade. Durante eventos de La Niña, os autores afirmam ser observável ligeira queda de temperatura durante o inverno e anomalia negativa na precipitação da região Sudeste.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

2.5
Interceptação e fluxo de atravessamento

Interceptação da precipitação é o processo em que a chuva acima das copas (*gross rainfall*) atinge as superfícies vegetais, sendo subsequentemente redistribuída. A figura 2.1 e o quadro 2.1 descrevem esquematicamente este sistema. A cobertura vegetal atua interceptando e armazenando parte da precipitação em folhas, troncos e galhos. Uma fração da chuva capturada é devolvida à atmosfera através da evapotranspiração durante e após o evento. A evapotranspiração é constituída da transpiração vegetal bem como da evaporação da água do solo. Quando a capacidade de retenção de água por parte da vegetação satura-se no dossel, ocorre o fluxo de atravessamento (*throughfall*) e o fluxo de tronco (*stemflow*). Estes dois processos são a forma como a chuva se move na vegetação em direção ao solo. No fluxo de atravessamento, a água da chuva penetra pelo dossel entre os espaços das folhas e pelo gotejamento das mesmas. O fluxo de tronco guia a água por galhos convergindo no tronco. A chuva atinge então a serrapilheira que também intercepta parte desta água armazenando-a. Quando um evento de chuva é intenso suficientemente para atravessar as copas e a serrapilheira, a quantidade de água que alcança o solo recebe o nome de precipitação terminal (*net rainfall*) (DUNNE e LEOPOLD, 1978; COELHO NETTO, 1979, 1994).

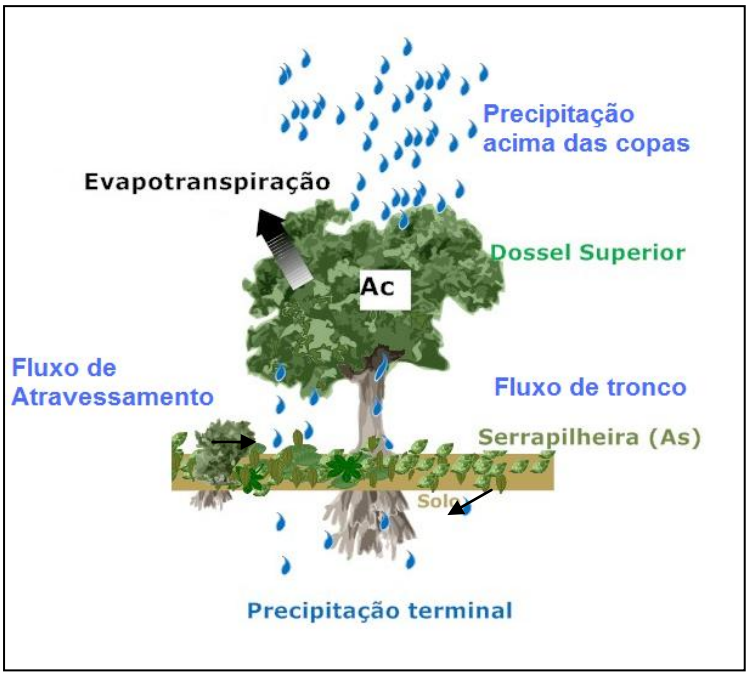

Figura 2.1: Componentes da interceptação vegetal da chuva.

Quadro 2.1. Equações descritivas do processo de interceptação vegetal da precipitação.

Pt = P – I
Pt = P – (Ac + As)
Pt = (At + Ft – As)
onde:
Pt: Precipitação terminal
P: Precipitação acima das copas
Ac: Armazenamento pelas copas
As: Armazenamento pela serrapilheira
At: Fluxo de atravessamento
Ft: Fluxo de tronco
I: Interceptação (P - At + Ft)

A terminologia descrita no parágrafo anterior será a adotada neste trabalho. No entanto, é possível encontrar na literatura o termo “chuva líquida” (*net rainfall*) como sinônimo de precipitação interna (fluxo de atravessamento + fluxo de tronco). O termo “fluxo de atravessamento direto” (*direct throughfall*) também pode ser encontrado e refere-se ao atravessamento que atinge o piso florestal diretamente, entre as folhas e sem tocar no dossel. A capacidade de estoque do dossel (*canopy storage capacity*) é a quantidade de chuva necessária para saturar o dossel antes que qualquer drenagem ocorra. A evaporação muitas vezes pode vir descrita como sinônimo de interceptação (LLORENS e GALLART, 2000; SCHELLEKENS, 2000; MUZYLO *et al.* 2009).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

O total de interceptação depende da natureza da cobertura vegetal e das características da precipitação como intensidade, duração, frequência, evaporação, além de outras variáveis. Em áreas vegetadas, os maiores fatores-controle da interceptação são tipo, densidade, forma e idade[7]. O comportamento anual da interceptação em florestas compostas por árvores decíduas será afetado pela queda das folhas em certas estações do ano. Por outro lado, a presença de cobertura perene em florestas ombrófilas, como a Mata Atlântica costeira, impõe uma dinâmica diferenciada com cobertura vegetal atuando durante todo o ano, e mesmo assim, a interceptação poderá apresentar dinâmica heterogênea (DUNNE e LEOPOLD, 1978).

Em regra geral quanto mais densa a folhagem, maior o armazenamento da interceptação[8]. Densidade se refere ao dossel superior, e também a camadas como estratificações arbustivas intermediária, vegetação herbácea e serrapilheira. A idade e o manejo humano afetam diretamente a densidade da cobertura. A forma da vegetação afetará decisivamente a interceptação. Os galhos dos eucaliptos criam um caminho de convergência para água aumentando assim o fluxo de tronco. Já algumas árvores coníferas com sua arquitetura de copas divergente atuam como um guarda-chuva espalhando a água (DUNNE e LEOPOLD, 1978; MENDES *et al.,* 1992; TOBÓN-MARIN *et al.*, 2000; KONISHI *et al.*, 2006; SATO, 2008; WULLAERT *et al.*, 2009).

Outra tendência geral que todos os tipos de floresta apresentam é o aumento do atravessamento de chuvas em eventos mais intensos[9]. Em teoria, quanto maior a quantidade de chuva por tempo determinado, maior a precipitação interna (fluxo de atravessamento mais fluxo de tronco). Em algumas áreas a precipitação de neblina pode desempenhar importante papel no aumento da água incidente sobre as copas e na alteração dos padrões de interceptação (WALLACE e McJANNET, 2006, 2007). No presente trabalho só a precipitação de chuva será considerada.

[7] Apesar desta afirmação, Braga *et al.* (2009) verificaram que para a Mata do Paraíso (MG) não há relação direta entre precipitação interna e área basal, um parâmetro bastante utilizado na caracterização de estruturas florestais. Em uma floresta de *Pinus sylvestris* nos Pirineus, Llorens e Gallart (2000) também não encontraram relação direta entre fluxo de atravessamento e área basal nem entre densidade.

[8] Uma exceção à literatura foi apontada por Murakami (2007) em uma floresta de Cipreste no Japão. O autor afirma que para a área de alta precipitação pluviométrica, a interceptação pelo dossel é controlada principalmente pelo regime de chuvas em detrimento de arquitetura das copas, índice de área foliar ou altura das árvores.

[9] Entretanto, Thomaz (2005) ao comparar uma floresta secundária tardia com uma capoeira (secundária inicial) verificou para esta última, aumento da interceptação com o aumento da intensidade da precipitação incidente. Resultado contrário ao descrito na maioria da literatura.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

Em casos de baixa intensidade de precipitação, a totalidade da chuva pode ser interceptada. Miranda (1992), Coelho Netto (1994) e Figueiró (2005) consideraram chuvas de até 10 mm diários insuficientes para produzir atravessamento ou fluxo de tronco. Esta afirmação foi baseada em estudos conduzidos na Floresta da Tijuca, Rio de Janeiro (RJ). Considerando outras escalas temporais, os valores para iniciar a precipitação interna ficam em 0,4 $mm.h^{-1}$ (GASH, 1979; LLOYD E MARQUES FILHO, 1988; VALENTE *et al.,* 1997) ou 1,5 $mm.h^{-1}.dia^{-1}$ (SCHELLEKENS *et al.,*1999; PEREIRA *et al.,* 2009).

Por outro lado, Coelho Netto (2005) afirma ser possível observar pontos no interior da floresta com pluviosidade superior à precipitação acima das copas (interceptação negativa ou fluxo de atravessamento maior do que 100%), proporcionada por fatores como umidade antecedente alta, a composição e a estrutura da vegetação. O acúmulo de água em bromélias ou galhos superpostos pode incrementar o gotejamento, pois contribuem para a permanência de água no sistema, aumentando assim a precipitação interna durante um evento de chuva (DUNNE e LEOPOLD, 1978; BALBINOT *et al.*, 2008).

Neste trabalho, os valores de fluxo de tronco não serão considerados por sua pequena contribuição na precipitação interna de chuva. O fluxo de atravessamento é a componente dominante. Na literatura, é recorrente a afirmação de que os valores de fluxo de tronco são muito baixos e pouco representativos, correspondendo em média a apenas 1% da precipitação acima das copas. (LUNDGREN e LUNDGREN, 1979; LLOYD e MARQUES FILHO, 1988; MIRANDA, 1992; UBURANA e NOBRE, 1994; VALENTE *et al*., 1997; CICCO *et al*., 2007). Uma exceção seriam as palmeiras que pela geometria convergente de suas folhas e galhos podem representar valores em torno de 5% da chuva acima das copas. No entanto, estas espécies não estão presentes na área amostral deste estudo.

A frequência do monitoramento utilizando coletores manuais pode ser semanal, quinzenal, a cada evento ou na forma de campanha onde coletas diárias são feitas durante um período de 20 a 30 dias. A amostragem mais comum é a semanal (GASH, 1979; LIMA e NICOLIELO, 1983; HÖRMANN *et al.,* 1996; VALENTE *et al.,* 1997; DEZEO e CHACÓN, 2006; DIETZ *et al.,* 2006; LLORENS e DOMINGOS, 2006; WANEK *et al*., 2007).

A utilização de coletores móveis para diminuir erros devidos a grande variabilidade espacial do atravessamento em florestas tropicais (HELVEY e PATRICK, 1964; LLOYD e MARQUES FILHO, 1988; SCHELLEKENS *et*

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

*al.,*1999; LLORENS e GALLART, 2000; TOBÓN-MARIN *et al.*, 2000; HOLSCHER *et al*., 2002; HOLWERDA *et al.*, 2005; LLORENS e DOMINGOS, 2006; CUARTAS *et al.,* 2007; ZIEGLER *et al.,* 2008; WULLAERT *et al.*, 2009) que chega a ser o dobro da variabilidade em florestas temperadas, também é amplamente discutida apesar de não haver um consenso. Apesar de alguns resultados com valores de fluxo de atravessamento diferentes entre pluviômetros fixos e móveis, autores como Shellekens *et al.* (2000) e Llorens e Gallart (2000) consideraram o sistema de troca desnecessário. Por outro lado, em casos de pluviômetros esparsos, com baixa representatividade espacial, a mudança de posições é bastante recomendada.

Os autores consultados que consideraram a escolha da instalação dos coletores como aleatória (SWANK *et al.,* 1972; MENDES *et al*., 1992; ARCOVA *et al.,* 2003; BERTÉ *et al.,* 2003) não utilizaram, ou não mencionaram, modelos numérico-espaciais para restringir a subjetividade implícita na "aleatoriedade" de escolher uma posição adjacente por presença de uma rocha ou declive muito acentuado.

Para pluviômetros pontuais, distâncias entre 1 m e 10 m são as mais adotadas. O número de coletores vai depender da área a ser estudada. Pluviômetros em forma de calha são uma alternativa a ser considerada em florestas nas quais as dificuldades de acesso à área são grandes ou também em outros casos em que o número de pluviômetros seja reduzido. Em florestas heterogêneas, a utilização de coletores em forma de calha pode não registrar as diferenças pontuais no fluxo de atravessamento (IIDA *et al.,* 2005; SATO, 2008; MOURA *et al*., 2009; SCHEER, 2009).

Autores como Llorens e Domingos (2006) recomendam a utilização de coletores com maior área de recepção, com base em uma extensa revisão de literatura em trabalhos de interceptação vegetal. No entanto, a análise destes autores se restringiu aos trabalhos realizados em áreas sujeitas ao clima mediterrâneo, em especial os situados na Europa. Nas florestas tropicais, possuidoras de coberturas vegetais geralmente mais heterogêneas, autores como Cuartas *et al.* (2008) utilizaram com sucesso coletores em forma de calha (Amazônia). Por outro lado, a grande maioria dos autores consultados (listados na tabela 2.1 os que trabalharam na Mata Atlântica, e nos anexos 2 e 3 os que trabalharam em outros sítios amostrais) utilizou coletores pontuais de fluxo de atravessamento A escolha por este último tipo de coletor neste trabalho se explica por esta constatação.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

Tabela 2.1. Valores percentuais de interceptação (I) e fluxo de atravessamento (At) em tipologias vegetais da Floresta Atlântica

Floresta Atlântica	Estágio	Local	I (%)	At (%)	Autor
Ombrófila densa	Secundária tardia	Maciço da Pedra Branca - RJ		85,9	Nogueira (2008)
Ombrófila densa	Secundária tardia	Maciço da Pedra Branca - RJ	17		*Silva et al. (2006)*
Ombrófila densa	Secundária tardia	Maciço da Pedra Branca - RJ	14		Cintra (2004)
Ombrófila densa	Secundária tardia	Floresta da Tijuca - RJ	18,7		Zaú *et al.* (2007)
	Secundária inicial		7,6		
Ombrófila densa	Secundária tardia	Floresta da Tijuca - RJ	17		Coelho Netto (2005)
Ombrófila densa	Secundária tardia	Floresta da Tijuca - RJ	24		Miranda (1992)
Ombrófila densa	Secundária inicial	Ilha grande - RJ	27,7		Oliveira e Coelho Netto (2001)
	Secundária (25 anos)		28,9		
	Clímax		58,6		
Ombrófila densa	secundária	Aracruz, Espírito Santo	23,9		Almeida e Soares (2003)
Ombrófila densa	Secundária inicial	Floresta Estadual do Palmito - PR	11,54		Protil (2006)
	Secundária intermediária		10,91		
	Secundária avançada		12,39		
Ombrófila densa	Secundária inicial	Floresta Estadual do Palmito - PR		88,42	Souza (2006)
	Secundária intermediária			87,47	
	Secundária avançada			80,51	
Ombrófila densa	Secundária inicial	Floresta Estadual do Palmito - PR	8		*Bertê et al.(2003)*
	Secundária Intermediária		12		
	Secundária avançada		21		
Ombrófila densa	Secundária avançada (20m)	Mata de Dois Irmãos - PE		84,9	*Moura et al. (2009)*
	chuva 0-10 mm		68		
	chuva 10-50 mm		25		
	chuva 50-70 mm		8		
	chuva >70 mm		6		
Ombrófila submontana	Secundária avançada (50 anos)	Reserva Natural Salto Morato - PR	13		Scheer (2009)
	Secundária inicial (9 anos)		16		
Ombrófila montana mista	Secundária tardia	Serra do Mar - Nova Friburgo - RJ	8,74		Barbosa *et al.* (2004)
Ombrófila mista (araucária)	Secundária (20-25m)	Guarapuava - PR	23		Thomaz (2005)
	Secundária inicial (8 anos)		47,6		
Latifoliada perenifólia	Secundária tardia (45 anos)	Núcleo Cunha do P. E. Serra do Mar -SP	18,4		Cicco *et al.* (2007)
Latifoliada perenifólia	Secundária tardia (45 anos)	Núcleo Cunha do P. E. Serra do Mar -SP	18,6		Arcova *et al.* (2003)
Estacional semidecidual	Secundária inicial	Mata do Paraíso, Viçosa - MG		60*	Neto *et al.* (2009)
Estacional semidecidual	Secundária avançada	Mata do Paraíso, Viçosa - MG		81,63	Alves *et al.* (2007)
Estacional semidecidual	Secundária inicial	Mata do Paraíso, Viçosa - MG		59,12*	Souza *et al.* (2007)
Estacional semidecidual	Secundária inicial	Mata do Paraíso, Viçosa - MG		80	Oliveira Júnior e Dias (2005)
* Calculado a partir dos valores encontrados pelo autor					

Moura *et al*. (2009) conduziram estudo em um fragmento de Floresta Atlântica secundária avançada na Mata de Dois Irmãos, situada em Recife (PE). Para a determinação da precipitação interna, foram utilizados 24 pluviômetros de PVC com espaçamento entre eles de 10 m. Após cinco coletas consecutivas, mudou-se a posição de cada pluviômetro em 1 m, no sentido horário, de modo que cada um ocupou quatro pontos diferentes. Os autores acreditam que os pluviômetros com mesmo espaçamento e o posicionamento em diferentes altitudes (não especificadas no trabalho) permitiram observar que os efeitos

provocados pela altitude são maiores do que os efeitos pela distância. Além disso, Moura *et al*. (2009) acrescentam que a utilização do parâmetro indivíduos arbóreos acima de um predeterminado DAP (Diâmetro altura peito, diâmetro de árvores, medido a 1,30 m do solo), comumente usada na literatura para descrever a estrutura florestal, pode superestimar uma medição. Por exemplo, indivíduos com DAP menor que 10 cm não sendo contabilizados produziriam interceptação contabilizada aos indivíduos de DAP maior que 10 cm.

Com relação aos trabalhos conduzidos no maciço da Pedra Branca, no ano de 2007, Nogueira (2008), utilizando 16 pluviômetros na mesma área de floresta secundária tardia do rio Caçambe no Camorim (RJ) adotada no presente trabalho, registrou atravessamento entre 0 e 154,8 mm. Este valor significa que 85,9% da precipitação atingiram o piso florestal (Tabela 2.1). O total da precipitação no período foi de 965,7 mm. O comportamento da interceptação esteve de acordo com a teoria: quanto maior a precipitação bruta maior a interceptação bruta. A autora ressalta ainda que apesar do valor médio de atravessamento de acordo com a literatura, uma característica particular do trecho de floresta estudado é sua grande variabilidade de interceptação, proporcionada pela heterogeneidade florestal com suas copas irregulares. Nogueira (2008) afirma que a precipitação com intensidade entre 10,1 e 50 mm por dia corresponderam a quase 50% das chuvas do período analisado. Nestes eventos, a interceptação variou entre 0,7 e 28,3 mm.

Cintra (2004), em monitoramento também conduzido na floresta do Camorim, obteve valor de 1708 mm para o período entre novembro de 2002 e novembro de 2003, sendo o valor médio de interceptação pelas copas das árvores de 14%. Os coletores foram 12 pluviômetros em garrafa plástica PET, 2 em área aberta e 10 em área fechada. Para a Floresta do Camorim, Silva *et al*. (2006), encontraram interceptação média de 17%. Portanto, nos estudos realizados na área amostral do presente estudo, a interceptação média ficou entre 14% e 17%. Coelho Netto (2005) e Zaú *et al.* (2007) apontam para valor semelhante (18% e 19%) no maciço da Tijuca, também na área metropolitana do Rio de Janeiro. Já a interceptação de 24% registrada por Miranda (1992), também no maciço da Tijuca, pode estar relacionada à utilização de outra área amostral, a um ano de chuvas atípico ou mesmo à esperada variabilidade existente em florestas heterogêneas, já que seus resultados, apesar de relativamente altos, não extrapolam os resultados da literatura relacionada à interceptação na Mata Atlântica. Na floresta do Palmito, PR, a tabela 2.1 mostra estudos no mesmo sítio amostral que variaram entre 10% e 21% de

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

interceptação, resultados que podem ser atribuídos a esta heterogeneidade ou mesmo ao monitoramento em anos distintos com padrões de chuva também distintos.

A leitura desta tabela permite visualizar uma tendência de aumento da interceptação percentual conforme avança o estágio de sucessão (ligeira exceção apontada por SCHEER, 2009) e uma diminuição da interceptação percentual com o aumento da intensidade. Segundo a literatura consultada, os resultados médios de interceptação para Mata Atlântica variam de 6% a 68% da precipitação total, sendo os valores entre 10% e 20% os mais registrados. Para outras florestas tropicais, a média de interceptação fica em torno de 18%, sendo o menor valor 0,7% e o maior 38% (anexo 2). Para florestas de coníferas os valores começam em 1% chegando a até 36% e para florestas decíduas a interceptação de 10% a 30% da precipitação total pode ocorrer (anexo 3).

Destaca-se ainda na tabela 2.1 que os autores Neto *et al.* (2009) e Souza *et al.* (2007) estudaram o período de seca prolongada entre os meses de junho e outubro na floresta semidecidual da Mata do Paraíso, MG. Esta sazonalidade é a provável razão de valores de interceptação de cerca de 40%. Considerando 12 meses (ALVES *et al.,* 2007) e 9 meses (OLIVEIRA JR e DIAS, 2005), a interceptação foi de cerca de 20% (com diferenças pouco relevantes nos estágios de sucessão inicial e tardio), ligeiramente acima da interceptação registrada no maciço da Pedra Branca. Nos trabalhos consultados não há estudos para verificar o padrão de interceptação do período de chuvas na Mata do Paraíso, MG, mas indica-se um provável padrão diferenciado entre florestas semidecíduas e ombrófilas densas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

2.6
Ciclagem de nutrientes relativa à água da precipitação e do fluxo de atravessamento

Em termos gerais, ciclagem de nutrientes significa a absorção de elementos do solo[10] e da atmosfera por organismos vivos, sintetizando-os e transformando-os em outros compostos. Por sua vez, os novos elementos, e mesmo os não modificados, retornam ao solo e à atmosfera através da

[10] O principal modo de absorção de nutrientes pela vegetação é radicular. O intemperismo da rocha matriz é outra forma comum de importação de nutrientes. A parte da solução que penetra no solo e é exportada para o lençol freático, geralmente contém os teores mais baixos de substâncias. Desta forma estão intimamente inter-relacionadas as interfaces entre solo, vegetação, atmosfera e chuva (BERNER et al., 2005).

decomposição biológica, seja ela da serrapilheira ou de outros organismos. (EATON *et al.*, 1973; FOSTER e MORRISON, 1976; LIMA, 1985)**.** Dos 100 elementos conhecidos na natureza, 16 são essenciais para a vida, podendo ser divididos em não minerais (como o carbono, hidrogênio e oxigênio) e minerais (como o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) conhecidos como macronutrientes e os micronutrientes (boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio e zinco) (PROTIL, 2006). Os principais fatores que afetam a ciclagem de nutrientes em um sistema florestal são o clima, a composição de espécies, o estado sucessional e a fertilidade do solo (VITOUSEK e SANFORD Jr., 1986).

Existem três ciclos de nutrientes nos ecossistemas florestais. O ciclo biogeoquímico é relativo às trocas químicas entre solo e planta. Envolve absorção de nutrientes e consequente distribuição dentro do vegetal, lixiviação[11] e lavagem pela água da chuva, e decomposição da serrapilheira. O ciclo geoquímico refere-se à entrada de nutrientes pela poeira, precipitações, intemperismo de rochas, fixação biológica do nitrogênio e fertilização artificial. O ciclo bioquímico caracteriza-se pela mobilidade dos elementos no interior vegetal (SWITZER e NELSON, 1972; PROTIL, 2006).

O foco deste trabalho é dispensado à parte da ciclagem de nutrientes relativa ao ciclo biogeoquímico da lavagem de substâncias pelo dossel[12] e sua lixiviação, e a parte do ciclo geoquímico relativa à entrada atmosférica de elementos, não discriminando deposição seca e úmida (RODRIGO *et al.*, 2003; PARKER, 1983). Se o maior volume de nutrientes encontra-se na interface solo-vegetação, por outro lado, a entrada de nutrientes pela precipitação interna é mais rápida pelo fato dos nutrientes estarem praticamente dissolvidos, tornando-se assim o maior caminho de entrada na ciclagem de nutrientes (PARKER, 1983).

Da mesma forma que nutrientes circulam nos ecossistemas, poluentes ou mesmo seu excesso podem ser introduzidos pela ação antrópica, seja ela uma fonte adjacente ou distante. A industrialização tem aumentado significativamente a emissão de substâncias gasosas como CO, NO_x, CH_4, e material particulado.

[11]A lixiviação do dossel ou lixiviação foliar é a remoção de substâncias minerais (potássio, fósforo, magnésio e nitrogênio) ou orgânicas (carboidratos, aminoácidos e ácidos orgânicos) por qualquer tipo de precipitação (chuva, orvalho, neblina ou nevoeiro). O principal caminho de saída de substâncias em solução é a folha, sendo fatores influenciadores neste processo, o tipo de folha, sua idade, estado nutricional, a solução lixiviadora, luz, temperatura, intensidade da chuva, entre outros (PROTIL, 2006; MALAVOLTA, 1980).

[12] A inaplicabilidade do procedimento metodológico dos coletores bandejas reduziu o foco do estudo em verificar a ciclagem de nutrientes parcial na vegetação acima do solo para apenas seu dossel.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

O pH da chuva já é normalmente ácido, em torno de 5,6 e 6, pela dissolução do dióxido de carbono (CO_2) nas nuvens e na chuva, formando um ácido fraco: o ácido carbônico (H_2CO_3) (LEITE, 1997; RODRIGO *et al.*, 2003). Valores de pH inferiores provavelmente indicam contaminação, apesar de existirem exceções como no vulcanismo.

A principal fonte responsável pela acidificação excessiva da chuva é a queima de combustíveis fósseis ou de minerais que contém enxofre (S) que à oxidação converte-se em dióxido de enxofre gasoso (SO_2). Geralmente, o ácido sulfúrico (H_2SO_4) exerce maior influência no controle da acidez da água da chuva do que o ácido nítrico (HNO_3) (EATON *et al.*, 1973). Ao mesmo tempo, as elevadas temperaturas da combustão conduzem à oxidação do nitrogênio molecular (N_2) atmosférico e do nitrogênio presente nos combustíveis, formando óxido nítrico (NO) e, em menor grau, do dióxido de nitrogênio (NO_2). Quando estes contaminantes primários[13] são emitidos, a concentração atmosférica dos mesmos diminui ao misturarem-se com as névoas de ar contaminado ou com o ar limpo, podendo também sofrer deposições ou transformações em contaminantes secundários. O nitrato[14] e o nitrito são os compostos da chuva ácida mais nocivos à vegetação (ABREU, 2005).

A chuva acidificada não mata a vegetação diretamente mas a enfraquece, podendo diminuir a produtividade florestal, danifica folhas e sua camada impermeabilizante, podendo ainda limitar a absorção de nutrientes e liberar substâncias tóxicas como o alumínio (CHEN *et al.*, 2000). Em contrapartida, a precipitação, ao passar pelo dossel florestal tende a tamponar, sofrendo um pequeno aumento do pH (PROTIL, 2006). Florestas em áreas de topo de montanha estão mais expostas a ação de nuvens e neblina ácidas. Árvores enfraquecidas podem ser facilmente danificadas pelo frio, doenças ou insetos (EATON *et al.*, 1973).

A ciclagem de nutrientes, incluindo as contribuições humanas, determina a estabilidade de mananciais hídricos, qualidade do ar e do solo é estreita. Da mesma forma em que a estrutura, fisionomia e composição vegetal influenciam na entrada e estoque da chuva e seus nutrientes, a ciclagem e alocação de

[13] Agentes poluentes primários: são aqueles lançados diretamente no ar pelas fontes poluidoras: CO, CO2 e NO, compostos de enxofre, hidrocarbonetos (derivados do petróleo) e clorofluocarbonetos (CFCs). Produzidos pela queima de combustíveis fósseis. Agentes poluentes secundários: são aqueles formados na atmosfera como o ozônio e os aerossóis à partir da reação química entre poluentes primários pela luz solar (ABREU, 2005).

[14] Em precipitações não poluídas (pH 5,6) a concentração de NH4+ -N tende a ser bem maior que a de NO3- -N (CHEN *et al.,* 2000).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

nutrientes interferem na fisionomia, composição, estrutura e processos. Ou seja, um sistema florestal intervém na ciclagem de nutrientes da mesma forma que depende dele.

Se as entradas de nutrientes acontecem pelo material formador do solo, pela atmosfera e pela chuva, as perdas em um sistema florestal são ocasionadas pelos processos de erosão, lixiviação, denitrificação, fogo e colheita florestal. O corte vegetal e o fogo permitem reabsorção parcial de nutrientes pela vegetação em crescimento. Entretanto, está longe de ser 100% eficiente, pois, além das perdas pelo deflúvio, têm-se os nutrientes removidos na matéria vegetal (RANZINI e LIMA, 2002)

Geralmente os nutrientes associados a moléculas orgânicas (caso do fósforo, nitrogênio, nitrato, amônio) têm menor mobilidade no ambiente, sendo mais reciclados através da serrapilheira. Já os nutrientes na forma iônica (sódio, cálcio, magnésio, potássio) transportam-se mais rapidamente pela lixiviação (CARLISLE *et al.*, 1966; EATON *et al.*, 1973; WESTMAN, 1978; BRINSON *et al.*, 1980; LIMA, 1985; VENEKLAAS, 1990; ANDRADE *et al.*, 1995).

Os principais elementos iônicos encontrados na água da chuva são o sódio (Na^{+}), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^{+}), cloreto (Cl^{-}), sulfato (SO_4^{2-}), todos de origem predominantemente marinha[15] (EATON *et al.*, 1973; CAVELIER *et al.*, 1997; RODRIGO *et al.*, 2003; ABREU, 2005; LEITE, 2001, 2006), além de amônio (NH_4^{+}) e nitrato (NO_3^{-}). Estes elementos, quando lançados na atmosfera a partir da superfície do mar, são chamados de aerossóis marinhos. A evaporação das gotículas na atmosfera pode produzir microcristais formados principalmente por cloreto de sódio, sulfato de cálcio e sulfato de magnésio (PROTIL, 2006).

Os aerossóis permanecem por cerca de uma semana nas camadas mais baixas da atmosfera terrestre. A deposição úmida ocorre quando a precipitação, como a chuva, retorna estes elementos à superfície. A deposição seca acontece quando as partículas com mais de um micrômetro de diâmetro retornam à superfície pelo efeito da gravidade e as menores por impactos ocasionais. São exemplos o cálcio, o magnésio e o fósforo que também podem ser importados por deposição seca em poeiras e mesmo em queima de restos vegetais de origem terrestre (LOVETT *et al.*, 2000).

[15] Leite (2001, 2006) confirmou a origem marinha dos elementos citados em trabalho conduzido em posição à sotavento da Serra da Bocaina, com grande distância do mar, ao encontrar níveis extremamente pequenos de aerossóis marinhos.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

Íons incorporados na água da chuva pela condensação de poeiras ou outros núcleos, ou ainda durante a formação das gotas são em sua maior parte originados em áreas distantes. Este processo recebe o nome de "*rainout*". Íons incorporados à chuva pelo impacto da queda das gotas originam um processo que ocorre mais proximamente, recebendo o nome de "*washout"* (RODRIGO *et al.*, 2003)

A razão Na/K próxima a 28 é indicadora de aerossóis marinhos (Allen *et al.* 1968), devendo-se levar em consideração a distância do sítio e os movimentos das massas de ar pelo relevo. As razões Na/K e Na/Ca tendem a diminuir com a continentalidade. Por outro lado, a razão Na/Mg tende a aumentar visto que os níveis de Mg diminuem mais rápido que os de Na com o aumento da distância do mar (SCHEER, 2009). Em áreas próximas ao oceano, o sódio geralmente é o elemento de maior concentração na precipitação incidente. A diminuição da razão Ca/Mg na precipitação, aproximando-se da razão para a água (0,196), muitas vezes significa proximidade do mar (EATON *et al.*, 1973). Segundo Carlisle *et al.* (1966), valores das razões acima dos da água do mar (K/Na = 0,036; Mg/Na = 0,120; Ca/Na = 0,039) na precipitação incidente significam contribuição de alguma outra fonte emissora.

Quando a chuva atinge a vegetação, a água atravessada tem fundamental importância na distribuição de nutrientes ao piso florestal e solo. Os principais processos envolvidos na ciclagem de nutrientes pelo fluxo de atravessamento são a lixiviação vegetal, a lavagem e a precipitação. As maiores concentrações de substâncias no fluxo de atravessamento ocorrem no início dos eventos (EATON *et al.*, 1973; RODRIGO *et al.*, 2003; SCHEER, 2009) na água das primeiras chuvas da estação ou em eventos precedidos de longo período de estiagem (LIMA, 1979). O teor dos elementos ($mg.L^{-1}$) presentes na água da precipitação externa e interna tendem a diminuir com o aumento do volume precipitado, em uma correlação negativa (McDOWELL e LIKENS, 1988; PARKER, 1983; ALCOCK e MORTON, 1985; RAAT *et al.*, 2002). Na maior parte das vezes, volume de chuvas rege o fluxo de deposição de elementos ($kg.ha^{-1}$) no solo da floresta, em uma correlação positiva (PARKER, 1983; LOVETT *et al.*, 2000; SCHEER, 2009).

A maior parte da literatura aponta para o enriquecimento da água da chuva ao passar pelo dossel florestal (PARKER, 1983; SOUZA, 2006 SOUZA e

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

MARQUES, 2010).[16] Geralmente o dossel acrescenta à água pelo menos 100% de K, 30% de P e Mg, embora contribua com menos de 30% a mais de N e Ca (SCHEER, 2009). Em uma floresta subtropical em Porto Rico, Heartsill-Scalley *et al.* (2007) apontaram enriquecimento de 16%, 20%, 120%, 67% e 93% para N, P, K, Ca e Mg respectivamente. Em alguns casos, a ciclagem de nutrientes pela lavagem da vegetação pela chuva pode até ser mais efetiva do que a ciclagem pela deposição da serrapilheira (SCHEER, 2009). O potássio, facilmente lixiviado dos tecidos vegetais, por sua baixa retenção nos tecidos vegetais (apoplasto por meio dos estômatos) (PEREZ-MARIN e MENEZES, 2008), constitui um dos elementos de maior expressão na precipitação interna (BERTÉ *et al.,* 2003). Segundo Parker (1983), o potássio no fluxo de atravessamento pode alcançar valores maiores que 11 vezes em comparação a precipitação incidente. As tabelas 2.2 e 2.3 indicam valores da literatura no Brasil para nutrientes em precipitação e fluxo de atravessamento. Os valores da literatura internacional consultada encontram-se no anexo 4. Resultados mais detalhados em trabalhos realizados no maciço da Pedra Branca são tratados adiante.

Quanto às diferenças nos elementos presentes no fluxo de atravessamento em diferentes estágios sucessionais, espera-se tendência de aumento das quantidades (PROTIL, 2006) e das concentrações da tipologia mais jovem para a mais velha (BERTÉ, 2003; SOUZA *et al.*, 2005; SOUZA, 2006, SOUZA e MARQUES, 2010). Eaton *et al.* (1973) e Tobón *et al.* (2004) afirmam que as folhas jovens são menos suscetíveis à lixiviação do que as mais velhas, sendo a idade um dos principais fatores no incremento de nutrientes no atravessamento, em especial dos elementos K, Ca e Mg. Além disso, em estágios de sucessão iniciais, o dossel florestal é pouco denso resultando em menor captação de deposição atmosférica, e logo, pouca lixiviação dos elementos. A maior diversidade pode ainda estar relacionada com uma maior lixiviação de alguns elementos do dossel (SOUZA e MARQUES, 2010). Conforme a sucessão avança, o maior porte das árvores favorece a captura de elementos atmosféricos, aumentando assim a disponibilidade de substâncias a serem lixiviadas. No entanto, Weathers *et al.* (2001) e Devlaeminck *et al.* (2005)

[16] Entretanto, a diminuição de concentrações de nutrientes no fluxo de atravessamento por absorção foliar não é impossível (EATON *et al.*, 1973; RODRIGO, 2003; PROTIL, 2006). Isso pode acontecer para N, P, K, Ca, Mg e outros mas a absorção foliar de nenhum elemento é tão bem documentada como para N na sua forma iônica (LOVETT e LINDBERG, 1993; MARQUES, 1996)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

afirmam que a fragmentação pode aumentar a captura de nutrientes e poluentes na borda florestal em relação ao seu interior[17].

Tabela 2.2. Valores para concentração (**mg.L^{-1}**) de nutrientes de precipitação e de fluxo de atravessamento em áreas de Floresta Atlântica

Floresta segundo o autor	Atlântica Ombrófila Densa	Atlântica Ombrófila densa	Atlântica Ombrófila Densa			Atlântica	Atlântica				Atlântica estacional semidecidual			Ombrófila Mista montana	
Localização	Maciço da Pedra Branca, RJ	Macico da Tijuca, RJ	Guaraqueçaba, PR			Bananal, SP	Pq. E. Fontes do Ipiranga, SP		Cunha, SP		Viçosa, MG			São Francisco de Paula, RG	
Altitude a.n.m. (m)	47*	460-1022	100-150			200-700	798		1050		600-670			< 923	
Distância do mar (Km)	10* Sotavento	< 2	48*			30-45* sotavento	50		15		210-215*			49*	
Estágio de sucessão	150 anos		capoeira aluvial (9 anos)		Avançada (50 anos)		Não informado				Regeneração recente			50 anos	
Parâmetro	P	P	P	At	At	P	P	At	P	At	P	At	Ft	P	Pi
pH	4,98	4,23				5,6-7,8	4,3	5,3	5,4	6,4	6,55	6,9	6,34	4,83-6,40	5,20-6,50
Condutividade (µS.cm^{-1})						1,8-12					41,57	100,5	66,36	20,08	46,45
H^+															
Na^+	1,37*	2,5	3,12	4,26	3,93	0	0,36*	0,81*	0,19*	0,84*					
K^+	0,13*	0,2	0,25	2,3	1,23	≈ 0	0,43*	4,89*	0,34*	7,4*				2,73	6,15
Mg^{2+}	0,26*	0,36	0,19	0,13	0,09	≈ 0	0,05*	0,25*	0,03*	0,2*				0,26	0,59
Ca^{2+}	0,37*	0,31	0,04	0,22	0,18	≈ 0	0,29*	0,6*	0,04*	0,36*				1,37	1,89
$NH4^+$	0,4*						1,08*	1,23*	0,69*	0,44*					
$NH4^+$-N															
Cl^-							0,97*	2,63*	0,51*	4,11*					
NO_3^-	0,6*						4,04*	4,06*	0,5*	0,61*					
NO_3^--N															
SO_4^{2-}	1,54*						1,14*	2,67*	0,2*	1,01*					
P														0,15	0,23
PO_4-P															
N														0,58	0,55
S														0,95	1,16
Referência	Abreu (2005)	Silveira e Coelho Netto (1999)	Scheer (2009)			Leite (2001, 2006)	Forti *et al.* (2005)				Souza *et al.* (2007)			Backes (2007)	

* calculado aproximado a partir dos dados dos autores

P = Precipitação; At = Fluxo de Atravessamento; Ft = Fluxo de tronco; Pi = Precipitação interna

[17] Weathers *et al.* (2001) observaram o efeito da fragmentação em uma floresta decídua no leste dos Estados Unidos para os elementos S, N e Ca. Devlaeminck *et al.* (2005) verificaram o mesmo em floresta decídua de faia para os fluxos no atravessamento dos elementos NH_4^+, Cl^- e Na^+. Não foram encontrados estudos no Brasil.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

Continuação da tabela 2.2. Valores para concentração (**mg.L-^{1}**) de nutrientes de precipitação e de fluxo de atravessamento em áreas de Floresta

Floresta	Atlântica Ombrófila Densa de Terras Baixas									Atlântica Ombrófila Densa de Terras Baixas				Plantação em área de pasto					–						–				
Localização	Paranaguá, PR									Paranaguá, PR				Seropédica, RJ					Ver abaixo						Rio de Janeiro				
Altitude	5-50									4-6				20*					–						–				
Dist.mar	12-15*									16-19*				22-31*					–						muito próximo				
Sucessão	*Andira anthelmintica* (inicial)	*A. anthelmintica* (média)	*A. anthelmintica* (avançada)	*Ilex theezans* (inicial)	*Ilex theezans* (média)	*Ocotea pulchella* (inicial)	*Ocotea pulchella* (média)	*Ocotea pulchella* (avançada)	*Ocotea pulchella* (avançada)	*Tapirira guianensis*		Inicial (24 anos)	Media (37 anos)	Avançada (indefinida)	*Acacia mangium*	*Pseudosamanea guachapele*	*Eucalyptus grandis* (misto)	*P. guachapele* e *E grandis*		Fortaleza	Natal	Salvador	Niterói	Caraguatatuba	Florianópolis	Iguaba	Maricá	Fundão/UFRJ	Sepetiba	Ilha Grande
Parâmetro	At	At	At	At	At	At	At	At	At	P	At	At	At	At	At	At	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
pH										5,9	6,3	6,3	6,2						5,3	5	5,6	5,4	4	5,7					
Condut.																													
H^+																													
Na^+	2,67	2,5	2,52	2,37	1,07	2,39	2,81	2,77	4,19	3,5*	3,31*	4,55*	3,73*	5,67	4	3,78	2,9	1,44							3,3	2,6	2	4,5	4,3
K^+	0,36	0,69	0,96	0,5	1,07	0,62	1,3	1,34	2,1	0,35*	0,43*	1,07*	1,26*	31,9	15,8	14,8	9,89	3,52							0,26	0,24	0,25	0,57	0,41
Mg^{2+}	0,22	0,29	0,21	0,2	0,29	0,22	0,28	0,26	0,27	0,55*	0,6*	0,71*	1,21*	1	1,32	0,96	1,16	0,39							0,42	0,3	0,45	0,76	0,56
Ca^{2+}	0,25	0,32	0,34	0,27	0,31	0,38	0,23	0,47	0,5	1,32*	1,22*	1,23*	2,43*	1,05	0,82	0,94	1,16	0,63							0,41	0,35	1	2,6	0,41
$NH4^+$																			0,08	0,03	0,03	0,21	0,28	0,21					
$NH4^+$-N														1,29	1,55	1,38	1,36	0,82											
Cl^-										8,94*	6,39*	8,86*	9,03*																
NO_3^-																			0,13	0,04	0,06	0,42	0,48	0,44					
NO_3^--N	0,07	0,21	0,1	0,07	0,11	0,07	15	0,1	0,51	0,56*	0,69*	1,38*	1,47*																
SO_4^{2-}																			0,4	0,21	0,61	1,66	1	0,44					
P														0,24	0,22	0,23	0,26	0,2											
PO_4-P																													
N																													
S																													
Referência	Protil (2006)									Souza (2006); Souza e Marques (2010)				Balieiro *et al.* (2007)					Moreira-Nordeman *et al.* (1990?)						Silva-Filho *et al.* (1995)				

* calculado aproximado a partir dos dados dos autores

P = Precipitação; At = Fluxo de Atravessamento; Ft = Fluxo de tronco; Pi = Precipitação interna

Tabela 2.3. Valores para fluxos de nutrientes (**kg.ha^{-1}.ano^{-1}**) de precipitação e de fluxo de atravessamento em áreas de Floresta Atlântica

Floresta segundo o autor	Atlântica Ombrófila densa submontana		Atlântica Ombrófila Densa	Atlântica				Atlântica Ombrófila Densa					Atlântica Ombrófila Densa			Atlântica Ombrófila Densa de Terras Baixas			Atlântica Ombrófila Densa de Terras Baixas			
Localização	Maciço da Pedra Branca, RJ		Ilha Grande, RJ	Pq. E. Fontes do Ipiranga, SP		Cunha, SP		Cunha, SP					Guaraqueçaba, PR			Paranaguá, PR			Paranaguá, PR			
Altitude a.n.m. (m)	180		280	798		1050		>1.000					100-150			5-50			4-6			
Distância do mar (Km)	6*		<10*	50		15		18*					48*			12-15*			16-19*			
Estágio de sucessão	Avançada		Maduro	Não informado				Bacia B (50 anos)		Bacia D (50 anos)				capoeira aluvial (9 anos)	Avançada (50 anos)	todas (inicial)	todas (média)	todas (avançada)		Inicial (24 anos)	Media (37 anos)	Avançada (indefinida)
Parâmetro	P	At	P	P	At	P	At	P	At	P	At	Ft	P	At	At	At	At	At	P	At	At	At
pH	≈ 3,5 - 5,5	≈ 5 - 6,5																				
Condutividade (µS.cm^{-1})																						
H$^+$				0,59	0,06	0,08	0,01	0,098	0,006	-	-	-										
Na$^+$	≈ 80	≈ 70	151,3	4,49	8,82	3,56	12,4	4,75	13,5	11,79	20,65	0,32	83,4	95,9	91,8	127,3	149	155	73,9	59,99	82,99	61,07
K$^+$	≈ 30	≈ 210		5,4	53,1	6,26	110	6,84	115	5,43	79,85	2,61	6,7	51,7	28,7	25,2	55,9	73,1	5,81	7,34	18,48	20,37
Mg^{2+}	≈ 10	≈ 30		1,34	5,55	1,04	5,86	1,13	6,39	1,08	7,23	0,15	5	2,9	2,1	7,6	10,6	8,2	9,33	8,88	10,64	17,16
Ca^{2+}	≈ 10	≈ 60	15,5	7,41	16,7	1,41	10,6	1,77	12	2,87	11,55	0,25	1,2	5	4,2	13,7	15,3	17,4	27,4	24,08	24,04	30,1
NH4$^+$				13,6	13,4	12,7	6,56	9,3	7,05													
NH4$^+$-N																						
Cl$^-$				12,1	28,7	9,53	61,3	10,6	62,5													
NO$_3^-$				50,8	44,3	9,23	9,09	10,8	9,16	9,06												
NO$_3^-$-N																3,5	9,3	14,5	2,31	2,51	5,48	5,93
SO$_4^{2-}$				28,6	58,1	7,43	30,1	9,62	30,4													
P	≈ 1	≈ 5	11,4							0,69	1,66	0,04										
PO$_4$-P																						
N																						
S																						
Referência	Cintra (2004)		Oliveira e Coelho Netto (2001)	Forti *et al.* (2005)				Cicco *et al.* (2007)					Scheer (2009)			Protil (2006)			Souza (2006); Souza e Marques (2010)			

* calculado aproximado a partir dos dados dos autores

P = Precipitação; At = Fluxo de Atravessamento; Ft = Fluxo de tronco; Pi = Precipitação interna

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

Continuação da tabela 2.3. Valores para fluxos (**kg.ha^{-1}.ano^{-1}**) de P e At em áreas de Floresta Atlântica.

Floresta	Atlântica Ombrófila Densa de Terras Baixas												Plantação em área de pasto					Araucaria angustifolia	
Localização	Paranaguá, PR												Seropédica, RJ					São Fr. de Paula, RG	
Altitude	4-6												20*					< 923	
Dist.mar	16-19*												22-31*					49*	
Sucessão		Inicial	Intermediária	Avançada		Inicial	Intermediária	Avançada		Inicial	Intermediária	Avançada	*Acacia mangium*	*Pseudosamanea guachapele*	*Eucalyptus grandis*	*P. guachapele* e *E. grandis* (misto)		Não informado (25 a 30 m)	
Parâmetro	P	At	At	At	P	At	At	At	P	At	At	At	At	At	At	At	P	P	Pi
pH																			
Condut.																			
H^+																			
Na^+													41,5	35	29,8	23,3	8,71		
K^+	5,33	8,53	22,5	27,8	7,55	12,9	27,1	26,5	6,25	6,93	17,3	19,3	155	176	86	49,5	19	56,97	113
Mg^{2+}													6,94	9,45	9,24	12,9	4,72	5,42	10,84
Ca^{2+}													7,43	6,87	12,3	13,8	6,74	28,58	34,71
$NH4^+$																			
$NH4^+$-N													11,2	15	12,1	12,9	8,42		
Cl^-																			
NO_3^-	1	5,83	7,82	7,08	0,93	1,77	2,83	2,74	0,93	0,95	2,88	2,83							
NO_3^--N																			
SO_4^{2-}																			
P													3,08	2,12	2,65	1,76	0,95	3,13	4,22
PO_4-P																			
N																		12,09	10,1
S																		19,82	21,3
Referência	Berté *et al*.(2003)												Balieiro *et al.* (2007)					Backes (2007)	

* calculado aproximado a partir dos dados dos autores
P = Precipitação; At = Fluxo de Atravessamento; Ft = Fluxo de tronco; Pi = Precipitação interna

Características de florestas tropicais que influenciam na ciclagem de nutrientes são muito variadas, sendo dependentes de solo, clima e localização. (VITOUSEK e SANFORD Jr., 1986; LOPES *et al.* 2007) No entanto, alguns padrões predominam: a) os solos são geralmente pobres, atuando mais como sustentação, com a maior parte dos nutrientes do ecossistema armazenada na biomassa viva e morta da floresta. Geralmente, florestas em solos pobres apresentam pouca mobilidade de cátions de base e solos férteis apresentam perdas maiores (STARK e JORDAN, 1978; VITOUSEK e SANFORD Jr., 1986; PROTIL, 2006); b) os nutrientes mais limitantes são rapidamente ciclados pela vegetação e solo (VITOUSEK e SANFORD Jr., 1986; PROTIL, 2006); c) o balanço de nutrientes é estável com equilíbrio entre entrada e saída. Distúrbios podem incrementar a saída de nutrientes e a recuperação pode diminuí-la. (EATON *et al.*, 1973; SCHEER, 2009; PROTIL, 2006); d) as folhas, representam

apenas pequena fração da elevada biomassa total mas são as maiores responsáveis pela ciclagem de nutrientes vegetal, possuindo as mais altas concentrações de elementos (PROTIL, 2006); e) normalmente, a lixiviação de nutrientes é mais elevada em espécies latifoliadas do que em coníferas (LIMA, 1985).

A ordem dos elementos K^+, Na^+, Ca^{2+} e Mg^{2+} para concentração ($mg.L^{-1}$) e fluxos ($kg.ha^{-1}.ano^{-1}$), segundo as tabelas 2.2 e 2.3, são extremamente variáveis, não se verificando um padrão de ordem crescente ou decrescente dos elementos. No entanto, os elementos K^+ e Na^+ são na grande maioria das vezes os maiores valores para precipitação incidente e fluxo de atravessamento. Os elementos Ca^{2+} e Mg^{2+} apresentam-se geralmente em menor quantidade do que K^+ e Na^+, tanto para precipitação incidente como para fluxo de atravessamento. Esta ordem das duplas repete-se na concentração ($mg.L^{-1}$) e nos fluxos ($kg.ha^{-1}.ano^{-1}$).

A partir de cálculo sobre a tabela 2.2 verifica-se que apenas Scheer (2009) obteve resultado da razão Mg/Na sobre a precipitação incidente abaixo dos valores da água do mar (K/Na = 0,036; Mg/Na = 0,120; Ca/Na = 0,039) em Guaraqueçaba. Este resultado está de acordo com a literatura já que a área de estudo encontra-se a cerca de 50 km do mar, admitindo que Mg é o elemento mais rapidamente diminuído com a distância do mar, sendo a distância de 50 km insuficiente para diminuir as razões K/Na e Ca/Na.

Seguindo a tabela 2.2, Seropédica (BALIEIRO *et al.,* 2007), Paranaguá (SOUZA, 2006; SOUZA e MARQUES, 2010), Cunha (Forti *et al*., 2005), e maciço da Tijuca (SILVEIRA e COELHO NETTO, 1998) ocupam posições geográficas próximas do oceano mas o valor das suas razões é superior ao da água do mar, o que indica nestes casos contribuição de fontes antrópicas em diferenciadas magnitudes. Os resultados de Abreu (2005) também indicam contribuição antrópica dos elementos Ca, K, Na, Mg, em especial no elemento Ca (Ca/Na = 0,27). A área de estudo deste autor encontra-se a sotavento do maciço da Pedra Branca e os resultados mostram razões com valores acima da água do mar.

Apenas dois estudos para avaliar os nutrientes na precipitação foram conduzidos no maciço da Pedra Branca, e destes apenas um avaliou o fluxo de atravessamento. Oliveira *et al.* (2005a, 2005b) conduziram ainda um estudo para verificar a presença de metais na serrapilheira.

Durante quatro meses, Abreu (2005) conduziu estudo no Núcleo do Pau da Fome, tratando da questão da chuva (deposição) ácida, e encontrou concentrações iônicas médias, ponderadas por volume (MPV), seguindo a

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

ordem: $Cl^- > Na^+ > SO_4^{2} > NH_4^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+} > H^+ > NO_3^- > K^+$ (Tabela 2.2). As maiores concentrações dos íons cloreto (Cl^-) e sódio (Na^+) indicam a forte influência dos aerossóis de sal marinho (*sea-salt aerosols*) na composição química da água da chuva.

O autor encontrou os seguintes resultados: a) O aumento nos totais pluviométricos implica em uma diminuição da condutividade elétrica e vice-versa; b) O aumento da pluviosidade implica em uma diminuição do pH das chuvas e vice versa; c) O pH tende a aumentar em situações de ventos pré-frontais; d) Em eventos de chuva associados à passagem dos sistemas frontais (SFs), aumentam os valores de Na^+, Cl^- e Mg_2^+ em relação às demais situações sinóticas; e) No maciço, o ácido sulfúrico (H_2SO_4) exerce maior influência no controle da acidez da água da chuva do que o ácido nítrico (HNO_3); f) As médias dos valores de pH no período variaram de 4,66 (jan. 2004) a 5,48 (nov. 2003).

No ano de 2002-2003, Cintra (2004), na Floresta do Camorim, confirmou que a água sofre significativa alteração ao transpor o dossel. A altura pluviométrica no período entre 11/2002 e 11/2003 foi de 1708 $mm.ano^{-1}$ com média de intercepção de 28%. “A composição química da precipitação incidente foi marcada pela influência dos aerossóis marinhos tendo sua composição dominada pela presença de K^+, Na^+, Ca^{2+} e Mg^{2+}, e pelos ânions SO_4^{-2}, Cl^- e NO_3^- “(CINTRA, 2004, p.68).

Para a autora, ficou ainda caracterizada a neutralização sistemática de H^+ pela cobertura vegetal, diminuindo a acidez da água que atinge o solo. O aporte atmosférico por precipitação incidente seguiu a ordem $Na^+ > K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ (Tabela 2.3). Quanto à entrada de metais, os maiores aportes foram de Zn e Mn com 375 e 46,2 $g.ha^{-1}.ano^{-1}$. Em geral, a precipitação interna mostrou ter mais concentração de nutrientes do que a precipitação coletada em área aberta. Este é um indício que mostra a eficiência da cobertura vegetal na captação mecânica de poeiras e material particulado da atmosfera, sendo as concentrações percebidas após períodos de ausência de eventos de chuva (LEITE, 1997). O elemento mais lixiviado das copas foi o K^+.

Cintra (2004) encontrou valores de 0,16 para Mg/Na, 0,57 para K/Na e 0,29 para Ca/Na, os dois últimos indicadores de contribuição proveniente de outras fontes que não a marítima pois são muito superiores aos valores encontrados na água do mar (respectivamente 0,12; 0,36 e 0,39). Possíveis fontes para o potássio são queimadas e atividade agrícola, e para o cálcio

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

poeiras e fumaças industriais[18]. Cálculos de enriquecimento demonstraram ainda que fontes antrópicas devem estar contribuindo na importação de Hg, As, Sb, Cd, Zn, e Cr; presentes em valor mais alto do que o esperado.

Oliveira *et al.* (2005a, 2005b), analisou a concentração dos metais pesados Cr, Hg, Cd, Pb, Ni e Zn na serrapilheira. A produção de serrapilheira foi estimada em 7.533 $kg.ha^{-1}.ano^{-1}$, seu estoque em 7.364 $kg.ha^{-1}$ e tempo de renovação correspondente a 357 dias. A concentração do zinco foi de 35,17 $mg.kg^{-1}$, acima do valor aceito como normal em tecidos vegetais (20 $mg.kg^{-1}$). Os fatores de enriquecimento foram superiores a 1, indicando concentrações de metais maiores para a serrapilheira acumulada no solo e menores para a recém caída. Segundo os autores, o esperado é que estes metais sejam incorporados ao solo mas sua acumulação está se dando em tempo superior à taxa de renovação ou mineralização da serrapilheira. Dos metais observados, apenas o cromo teve tempo de renovação abaixo de 357 dias. O maior tempo de mineralização foi do cádmio (711 dias) e chumbo (690 dias). A verificação do tempo de renovação de N, P, K^+, Na^+, Ca^{2+} e Mg^{2+} apontou que todos estes últimos estão abaixo do tempo necessário para mineralização. Os autores afirmam que é patente a incorporação dos metais à ciclagem de nutrientes na floresta por sua lenta ciclagem e bioacumulação superior ao tempo de mineralização. Esta afirmação, associada ao fato de que as fontes antropogênicas de emissão não tendem a cessar, pelo contrário, a urbanização carioca caminha em direção ao maciço da Pedra Branca, aponta para o andamento de uma evidente contaminação das cadeias alimentares do sistema.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912477/CA

[18] No entanto, não deve se descartar a possibilidade de não ser uma entrada mas apenas parte do ciclo de poeira do solo local.